

Neutrosophic Computing and Machine Learning {Número especial: Neutrosofía: Herramienta para investigación y toma de decisiones en ambientes de indeterminación}, Vol. 30, 2023

University of New Mexico 

Análisis estadístico neutrósofico del color en la laserfluorescencia a λ=450nm y 405nm para el diagnóstico del límite cavitario: un estudio exvivo con marcadores de ADN.

Neutrophic statistical analysis of color in laserfluorescence at λ=450nm and 405nm for the cavitary boundary diagnosis: an exvivo study with AND markers.

Laverde Albarracín Diego Mauricio[1], Gabriela Lizeth Carrera Guanga [2], and Carlos Luis Villalba León [3]

[1] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. **E-mail:** ua.diegolaverde@uniandes.edu.ec

[2] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. **E-mail:** ua.gabrielacg89@uniandes.edu.ec

[3] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. **E-mail:** ua.carlosvl20@uniandes.edu.ec

Resumen. La Laserfluorescencia es capaz de discernir entre tejido sano y enfermo y ha sido aplicada a distintos ámbitos dentro de la Odontología. Sin embargo, la laserfluorescencia cualitativa ha sido poco estudiada para determinar el Límite Cavitario. Donde pueden intervenir varias ciencias y disciplinas para un mayor nivel de fiabilidad de los resultados. Donde la estadística neutrósofica inferencial juega un rol protagónico, es por ello que durante la investigación se utilizaron métodos y técnicas tanto de niveles teóricos, empíricos y estadísticos matemáticos. Se empleó un enfoque mixto de la investigación. El objetivo de la investigación es realizar un análisis estadístico neutrosófico sobre el uso del color en la laserfluorescencia a λ=450nm y 405nm para el diagnóstico del límite cavitario: un estudio exvivo con marcadores de ADN. Se seleccionaron 45 dientes ex-vivo, que presentaban al menos una localización caries dentinaria. Se obtuvieron 83 áreas para el estudio en las que se midió la fluorescencia mediante tres sistemas con diferentes longitudes de onda (405- 450nm). Se calculó la seguridad de la prueba con las categorías de color recomendadas por el fabricante y una escala fruto de la recodificación de las variables, basada en la mejor relación del color con cada estrato de la caries dentinaria. Los datos obtenidos fueron introducidos en el programa estadístico SPSS 19.0. Se aplicaron pruebas de significación ($\alpha \leq 0{,}05$).

Palabras clave: estadística neutrosófica, laserfluorescencia, diagnóstico, limite cavitario

Summary. Laserfluorescence is capable of discerning between healthy and diseased tissue and has been applied to different fields within dentistry. However, qualitative laserfluorescence has been little studied to determine the Cavity Limit. Where several sciences and disciplines can be involved for a higher level of reliability of the results. Where the inferential neutrosophic statistics plays a leading role, that is why during the research methods and techniques of both theoretical, empirical and mathematical statistical levels were used. A mixed research approach with a cross-sectional design was used. The aim of the research is to perform a neutrosophic statistical analysis on the use of laserfluorescence color at λ=450nm and 405nm for cavity boundary diagnosis: an ex-vivo study with DNA markers. Forty-five teeth were selected ex-vivo, presenting at least one dentin caries location. Eighty-three areas were obtained for the study in which fluorescence was measured using three systems with different wavelengths (405- 450nm). The safety of the test was calculated with the color categories recommended by the manufacturer and a scale resulting from the recoding of the variables, based on the best relationship of the color with each stratum of the dentin caries. The data obtained were entered into the SPSS 19.0 statistical program. Significance tests ($\alpha \leq 0.05$) were applied.

Key words: neutrosophic statistics, laserfluorescence, diagnosis, cavity boundary

1 Introducción

La caries dental es una enfermedad infecciosa de etiología multifactorial que se caracteriza por desintegración progresiva de sus tejidos calcificados, debido a la acción de microorganismos sobre los carbohidratos fermentables provenientes de la dieta [1]. Se considera un proceso dinámico de desmineralización y remineralización que ocurre en la superficie del diente como producto del metabolismo bacteriano, que con el tiempo puede resultar en una pérdida de minerales [2].

Los microorganismos que constituyen la placa dental establecen una serie de relaciones entre sí que condicionan el ambiente del biofilm, sobreviviendo y proliferando solo aquellos que se adapten a dicho ambiente, siendo éstos los más virulentos [3], [4].

La lesión del esmalte después de un tiempo se vuelve altamente porosa, esto permite que la caries una vez que se encuentra en el límite amelodentinario, dirija los ácidos hacia el interior de la dentina, provocando una reacción del complejo dentino pulpar [5]. Esta respuesta se basa en mecanismos como la esclerosis tubular, dentina esclerótica, entre otros [6].

Por otra parte, Microscópicamente, la capa superficial externa está infectada por microorganismos. La dureza y el color de la dentina han sido los parámetros utilizados para diferenciar entre la dentina infectada y la no infectada por caries durante el proceso de excavación del tejido cariado [7], [8].

Se demostró la existencia de correlación entre los criterios clínicos (dentina dura o blanda/ seca o mojada) y los hallazgos microbiológicos [9].En este estudio indicaban que la dentina blanda presentaba una mayor cantidad de bacterias que la dentina dura, así mismo, obtuvieron una cantidad de lactobacilos significativamente mayor en la dentina blanda y húmeda, que en la blanda y seca. Sin embargo, no ocurría lo mismo con el color de la dentina y la cantidad de microorganismos presentes en ella [9], quedando el criterio clínico del color dentinario para establecer el limite cavitario en desuso.

La exploración de la lesión de caries con la sonda exploradora permite al odontólogo obtener información táctil sobre la dureza de la dentina y su grado de afectación cariosa, pudiendo establecerse cuatro estados diferentes de la dentina [10], [11].

- *Dentina blanda:* se deforma cuando se presiona con un instrumento duro sobre ella y puede ser excavada fácilmente. Histopatológicamente es dentina necrótica contaminada con biofilm.

-*Dentina correosa:* se denomina así por recordar al tacto del cuero cuando se la explora con la sonda; no se deforma a la presión, pero puede ser excavada fácilmente sin precisar mucha fuerza. Desde el punto de vista histopatológico es dentina desmineralizada.

- *Dentina firme:* no se deformar a la presión, es físicamente resistente a la excavación manual, y para levantarla se precisa realizar una gran fuerza y presión con un instrumento. Se corresponde con la dentina esclerótica.

- *Dentina dura:* solo puede ser eliminada usando fresas o instrumentos de corte bien afilados. Al arrastrar la punta de la sonda exploradora sobre la dentina dura se oye un sonido estridente, denominado “chirrido o grito dentinario”. Es la dentina sana normal.

Este método utilizado en la detección del límite cavitario es subjetivo, pues depende del operador, del tipo de sonda utilizada y no nos permite realizar una exploración de toda la superficie de la cavidad.

La solución de tinte original, Caries Detector (Kuraray Noritake Dental) se compone de rojo ácido 1 % en propileno glicol. La dentina infectada por caries se tiñe de color rojo, la afectada de color rosa claro y la dentina sana no se mancha. Sin embargo, tomar una decisión sobre los límites de la dentina afectada por caries por el color de teñido es muy subjetivo. Además, el detector de caries no es capaz de detectar la proteína específica de la matriz orgánica dañada para establecer correctamente este límite [12].

Los equipos utilizados para el diagnóstico de lesiones cariosas funcionan mediante un diodo de láser que genera un rayo de luz con una longitud de onda definida, la cual incide sobre el diente, adquiriendo un aspecto fluorescente que puede ser cuantificado, en presencia de fluoróforos bacterianos (protoporfirina IX). Este es el principio operativo de los sistemas de laser- fluorescencia cualitativos (λ 405-450nm). Estos sistemas generan una imagen con diferentes colores, que están asociados a tejido sano (verde) o tejido enfermo (naranja- rojo) [13].

Existen discrepancias con la utilidad de la LF para diagnóstico debido a que en la zona del tejido pulpar la fluorescencia resultante es parecida a la no cariógena, por lo que podría dar falsos positivos [14]. Dentro de ellas sobresale el programa de gestión de imágenes en el que se analizan las imágenes obtenidas a través de una cámara intra-oral que emite y recibe haces de luz de diferentes longitudes de onda (Dürr Dental GmbH & Co. KG, Höpfigheimer Strasse 17, 74321, Bietigheim-Bissingen, Germany). Éste haz de luz tiene una longitud de onda de 405 nm producida por seis LEDs y que estimula a las porfirinas, metabolitos específicos de las bacterias cario-

génicas, que a su vez, emiten luz roja, la cual contiene menos energía. En el caso del esmalte sano, la luz que emite se correspondería con el color verde. Estas señales luminosas son recogidas a través de un sensor CCD de 1/4" y analizadas por el software.

En la pantalla, la imagen fluorescente de las porfirinas aparece en un color rojo brillante que se puede detectar fácilmente. Cuanto más densa es la colonia de bacteria cariogénica, más intenso será el tono de color rojo. La ventaja con respecto a la inspección visual y táctil es que con esta técnica podemos ver diferentes estadios de la caries. El software diferencia hasta los distintos estadios de la caries dándole un valor numérico que va desde 0 a 5.

Este aparato emite y recibe haces de luz de diferentes longitudes de onda. Éste haz de luz tiene una longitud de onda de 405 nm producida por LEDs y que estimula a las porfirinas, metabolitos específicos de las bacterias cariogénicas, que a su vez, emiten luz roja, la cual contiene menos energía. En el caso de tejido sano, la luz que emite se correspondería con el color verde.

El software Sopro Imaging es la interfaz del usuario del sistema Sopix PSPIX, SOPROLIFE y de las cámaras Sopro© que permite adquirir, procesar y archivar imágenes radiográficas tomadas con el sistema Sopix o PSPIX. Dentro de sus múltiples funciones la que nos ofrece, la cámara intraoral Soprolife® utiliza dos grupos de LEDs que pueden iluminar las superficies del diente tanto con la función luz diurna (luz blanca) como la función luz azul (longitud de onda de 450 nm con un ancho de banda de 20 nm, centrada a ±10 nm de la onda de excitación).

Por otra parte, L*a*b es el nombre abreviado de dos espacios de color diferentes. El más conocido es CIE-LAB (estrictamente CIE 1976 L*a*b*) y el otro es L*a*b es una abreviación informal, y puede confundirse con uno u otro espacio de color. Los espacios de color están relacionados en intención y propósito, pero son diferentes entre sí [15].

El propósito de ambos espacios es producir un espacio de color que sea más "perceptivamente lineal" que otros espacios de color [15]. Las siglas LAB se refieren al espacio de color tridimensional, en donde L o L* es luminosidad de negro a blanco, A o a* va de rojo a verde y B o b* al azul [16].

El modelo RGB de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios. El modelo de color RGB no define por sí mismo lo que significa exactamente rojo, verde o azul, por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes en distintos dispositivos que usen este modelo de color.

Los valores RGB o CMYK deben ser transformados a un espacio de color absoluto específico, tal como sRGB o RGB de Adobe. Estos espacios serán dependientes del dispositivo permitiendo que estos datos sean transformados al espacio de color CIE 1931 y luego en L*a*b*.

A partir de todo lo antes planteado se evidencia la complejidad de la temática abordada y que aún se require profundizar desde otras aristas. Es por ello que el objetivo de la presente investigación se orienta hacia: análisis estadístico neutrosófico sobre el uso del color en la Láserfluorescencia a λ=450nm y 405nm para el diagnóstico del límite cavitario: un estudio ex vivo con marcadores de ADN.

2 Materiales y métodos

Este estudio, dentro de la línea de investigación diagnóstico de caries, cuenta con la aprobación del Comité Ético de la Universidad de Sevilla. Se utilizaron para la selección de la muestra 45 dientes ex-vivo, premolares y molares de diferentes pacientes, que presentaban al menos una localización caries dentinaria sin invasión pulpar. Los dientes fueron conservados a 4ºC en suero fisiológico para evitar la desecación de la dentina y preparados antes de siete días para evitar la pérdida de fluorescencia del tejido dental.

Para el mismo se siguen las características del enfoque mixto de la investigación. Pues en el mismo se emplean técnicas y métodos cualitativos y cuantitativos. Los mismos serán descritos a continuación.

Se emplearon métodos y técnicas de carácter teóricos empíricos y matemáticas estadísticas. Los mismos serrarán explicitados a continuación.

Teóricos

Analítico-sintético e inducción-deducción: Se utilizaron durante el proceso de consulta para la valoración crítica de la literatura, de la documentación especializada, en la aplicación de otros métodos del conocimiento científico, en los resultados que se obtuvieron en el estudio neutrosofico realizado.

Empíricos

Revisión documental: Aportó la información necesaria para el estadístico neutrosófico sobre el uso del color en la Láserfluorescencia a λ=450nm y 405nm para el diagnóstico del límite cavitario: un estudio exvivo con marcadores de ADN.

Estadísticos-matemáticos

Los datos obtenidos fueron introducidos en el programa SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Se calcu-

laron las frecuencias y porcentajes de cada color LIF-CL respecto a cada capa dentinaria. Según estas frecuencias, se asociaron los colores representativos de la LIF de cada longitud de onda a las capas del estrato de la caries dentinaria, donde la frecuencia era mayor. Con la recodificación de las capas del estrato dentinario en dentina Recuperable (Hipermineralizada + Desmineralizada profunda) y No Recuperable (Desmineralizada superficial) se recodificaron nuevamente las categorías de color para cada longitud de onda. Se tomó como base para la selección de estas categorías el impacto que tenían en la Sensibilidad, Especificidad y Valores Predictivos de cada prueba. Aquellas categorías de color que no se distribuían con un porcentaje diferencial mayor al 40%, entre Recuperable/No Recuperable, se excluían como categoría diagnóstica.

Se calcularon las medias y la desviación estándar de cada valor L*a*b* para las capas del estrato dentinario, una vez comprobada que su distribución era normal. Para conocer si existían diferencias significativas entre los valores L*a*b* y las capas del Límite Cavitario se utilizó la prueba *T de Student* fijando su significación en $\alpha \leq 0,05$. Para los valores L*a*b* en relación a la dentina Recuperable/No Recuperable se procedió de igual forma.

2.1 Población y muestra

Se seleccionaron 45 dientes ex-vivo, que presentaban al menos una localización caries dentinaria. Se obtuvieron 83 áreas para el estudio en las que se midió la fluorescencia mediante tres sistemas con diferentes longitudes de onda (405- 450nm). Se calculó la seguridad de la prueba con las categorías de color recomendadas por el fabricante y una escala fruto de la recodificación de las variables, basada en la mejor relación del color con cada estrato de la caries dentinaria. Los datos obtenidos fueron introducidos en el programa estadístico SPSS 19.0. Se aplicaron pruebas de significación ($\alpha \leq 0,05$).

2.2 Método neutrosófico

En concordancia con las cacarteristicas de la neutrosofía, el nivel de significación neutrosófica α puede ser un conjunto, no necesariamente un número nítido como en la estadística clásica [17], [18], [19], [20], [21]. Un valor P neutrosófico se define de la misma manera que en la estadística clásica: el nivel de significación más pequeño en el que se puede rechazar una hipótesis nula Ho.

La distinción entre el valor P clásico y el valor P neutrosófico es que el valor P neutrosófico no es un número nítido como en la estadística clásica, sino un conjunto (en muchas aplicaciones es un intervalo).

Para conocer la validez de los resultados se tuvo en cuenta lo siguiente: Valor P neutrosófico = P (z < z valor crítico, cuando Ho es verdadero). Donde P (*) significa probabilidad clásica calculada asumiendo que Ho es verdadero, la probabilidad de observar un valor estadístico de prueba es más extrema de lo que realmente se obtuvo.

Supongamos que uno ha calculado el valor P neutrosófico en el nivel particular de significancia α, donde α es un número positivo nítido.

1- Si max {neutrosopicp−valve} ≤ a, entonces rechace Ho en el nivel a.
2- Si min {neutrosopicp−valve} ≤ a, entonces no rechace Ho en el nivel a.
3- Si min {neutrosopicp−valve} < a < max min {neutrosopicp−valve} entonces hay una indeterminación.
4- Si max {neutrosopicp−valve} ≤ min {aN} rechace Ho en el nivel aN.
5- Si max {neutrosopicp−valve} ≤ min {aN } no rechace Ho en el nivel aN.
6- Si los dos conjuntos, los del valor P neutrosófico y el nivel de significancia neutrosófico aN se cruzan, uno tiene indeterminación. Y se puede calcular la posibilidad de rechazar Ho en aN y la posibilidad de no rechazar Ho en aN.

En estadística clásica, el valor P se calcula considerando la tabla de probabilidades normales estándar. a. El valor P es el área bajo la curva z a la derecha de z calculada, para la prueba z de cola superior. sí. El valor P es el área debajo de la curva z a la izquierda de la z calculada, para la prueba z de cola baja. C. El valor P es el doble del área capturada en la cola correspondiente a la z calculada, para la prueba z de dos colas.

3 Resultados y discusión

La distribución de los colores para las categorías “verde-naranja-rojo/blanco-grisnegro”, entre las distintas capas de la caries dentinaria y entre la dentina Recuperable/No recuperable, están representadas en la Tabla 1.

Los colores Blanco-Gris-Negro no han sido incluidos en las categorías de variables de esta prueba y no se emplearán para discriminar entre las capas de la caries dentinaria.

Tabla 1. Distribución de las categorías "verde-naranja-rojo" de la Láserfluorescencia λ=450nm entre las capas de la caries dentinaria.

Soprolife ® λ= 450nm	H1	H2	DENTINA R=(H1+H2)	H3	DENTINA NR= (H3)
Blanco	4	1		2	
Verde claro	1				
Verde Medio	21	15		5	
Verde Oscuro	1	3	**41**	2	**7**
Amarillo	2	1		2	
Naranja	4	2	**9**		**2**
Rojo Claro		2		4	
Rojo Vivo				1	
Rojo Oscuro			**2**	1	**6**
Gris	1			1	
Negro	1				

H1: Hipermineralizada; **H2**: Desmineralizada profunda; **H3:** Desmineralizada Superficial;

R: Dentina Recuperable **NR:** Dentina No Recuperable

Las frecuencias y porcentajes para las categorías Verde-Naranja-Rojo se expresan en la Tabla 2. Según la distribución observada entre la dentina recuperable y no recuperable, el verde y naranja presentan mayor frecuencia en la dentina Recuperable y la categoría rojo en la No recuperable. Los valores de la prueba para la Sensibilidad (S), Especificidad (Sp), Valor Predictivo Positivo (VP+) y Valor Predictivo Negativo (VP-) se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Escala de colores recodificados y su distribución entre dentina Recuperable y No Recuperable de la Láserfluorescencia λ=450nm

VARIABLES MODIFICADAS Soprolife®	DR	DNR
VERDE	**41** (85,42%)	**7** (14,58%)
NARANJA	**9** (81,82%)	**2** (18,18%)
ROJO	**2** (25%)	**6** (75%)

DR: Dentina Recuperable; **DNR**: Dentina No Recuperable

Tabla 3. Validez de la Láserfluorescencia λ=450nm con la escala de colores recodificada Laserfluorescencia λ=405nm (Siroinspect®)

Validez LIF λ= 450nm	SANO	ENFERMO	
VERDE/NARANJA	50	9	**VPN=0,85**
ROJO	2	6	**VPP=0,75**
	Sp=0,96	**S=0,40**	

Sp: Especificidad; **S:** Sensibilidad; **VPN:** Valor predictivo negativo; **VPP:** Valor predictivo positivo

La distribución de los colores para las categorías "verde-naranja-rojo/Gris", entre las distintas capas de la caries dentinaria y entre la dentina recuperable/No recuperable, están representadas en la Tabla 4. El color Gris no ha sido incluido en las categorías de variables de esta prueba y no será aplicado para discriminar entre las capas

de la caries dentinaria.

Tabla 4. Distribución de colores de la Láserfluorescencia λ=405nm (Siroinspect®) entre las capas de la caries dentinaria.

Siroinspect® LIF λ= 405nm	H1	H2	DENTINA R=(H1+H2)	H3	DENTINA NR= (H3)
Verde Claro	24	10		4	
Verde oscuro		1	**35**		**4**
Amarillo		1			
Naranja Claro	1				
Naranja Medio	8	9		5	
Rojo	2	1	**22**		**5**
Rojo vivo	1	2	**3**	13	**13**
Gris	1				

H1: Hipermineralizada; **H2**: Desmineralizada profunda; **H3:** Desmineralizada Superficial; **R**: Dentina Recuperable **NR:** Dentina No Recuperable

Las frecuencias y porcentajes para las categorías Verde-Naranja-Rojo-Rojo vivo se observan en la Tabla 5. Según la distribución de las categorías de color entre la dentina recuperable y no recuperable, el verde-naranja-rojo presenta mayor frecuencia en la dentina Recuperable y la categoría rojo vivo en la No recuperable. Los valores de la prueba para la Sensibilidad (S), Especificidad (Sp), Valor Predictivo Positivo (VP+) y Valor Predictivo Negativo (VP-) se muestran en la Tabla 6.

Tabla 5. Escala de colores recodificados y su distribución entre dentina Recuperable y No Recuperable de la Láserfluorescencia λ=405nm (Siroinspect ®)

VARIABLES MODIFICADAS Siroinspect®	DR	DNR
VERDE	**35** (89,74%)	**4** (10,26%)
NARANJA/ROJO	**22** (81,48%)	**5** (18,52%)
ROJO VIVO	**3** (18,75%)	**13** (81,25%)

DR: Dentina Recuperable; **DNR**: Dentina No Recuperable

Tabla 6. Validez de la Láserfluorescencia λ=405nm (Siroinspect ®) con la escala de colores recodificada Láserfluorescencia λ=405nm (Vistaproof®)

Validez λ= 405nm	SANO	ENFERMO	
VERDE/NARANJA/ROJO	57	9	**VPN=0,86**
ROJO VIVO	3	13	**VPP=0,81**
	Sp=0,95	**S=0,59**	

Sp: Especificidad; **S:** Sensibilidad; **VPN:** Valor predictivo negativo; **VPP:** Valor predictivo positivo

La distribución de los colores para las categorías "verde-naranja-rojo/gris", entre las distintas capas de la caries dentinaria y entre la dentina recuperable/No recuperable, están representadas en la Tabla 7. El color Gris no ha sido incluido en las categorías de variables de esta prueba y no será empleado para discriminar entre las capas de la caries dentinaria.

Tabla 7. Distribución de colores de la Láserfluorescencia λ=405nm (Vistaproof®) entre las capas de la caries dentinaria

VistaProof LIF λ= 405nm	H1	H2	DENTINA R=(H1+H2)	H3	DENTINA NR= (H3)
Verde Claro	26	12		3	
Naranja	4	5	**47**	1	**4**
Rosa	3	6		5	
Rojo	3		**12**	4	**9**
Rosa Vivo				2	
Rojo Vivo		1	**1**	7	**9**
Gris	1				

H1: Hipermineralizada; **H2**: Desmineralizada profunda; **H3:** Desmineralizada Superficial;
R: Dentina Recuperable **NR:** Dentina No Recuperable

Las frecuencias y porcentajes para las categorías Verde-Naranja-Rojo-Rojo vivo se observan en la Tabla 8. Según la distribución entre la dentina recuperable y no recuperable, el verde-naranja-rojo presenta mayor frecuencia en la dentina Recuperable y la categoría rojo vivo en la No recuperable. Los valores para la categoría rojo apagado muestran diferencias de aproximadamente del 15% entre dentina recuperable/No Recuperable, por lo que no es considerada una categoría discriminativa. Los valores de la prueba para la Sensibilidad (S), Especificidad (Sp), Valor Predictivo Positivo (VP+) y Valor Predictivo Negativo (VP-) se muestran en la Tabla 9.

Tabla 8. Escala de colores recodificados y su distribución entre dentina Recuperable y No Recuperable de la Láserfluorescencia λ=405nm (Vistaproof®)

VARIABLES MODIFICADAS Vistaproof®	DR	DNR
VERDE/NARANJA	**47**(91,49%)	**4** (8,51%)
ROJO APAGADO	**12** (57,14%)	**9** (42,86%)
ROJO VIVO	**1** (10%)	**9** (90%)

DR: Dentina Recuperable; **DNR**: Dentina No Recuperable

Tabla 9. Validez de la Láserfluorescencia λ=405nm (Vistaproof®) con la escala de colores recodificada Valores CIE L*a*b* para la Láserfluorescencia λ=405nm

Validez LIF λ= 405nm (VistaProof®)	SANO	ENFERMO	
VERDE/NARANJA	47	4	**VPN=0,92**
ROJO VIVO	1	9	**VPP=0,9**
	Sp=0,98	**S=0,69**	

Sp: Especificidad; **S:** Sensibilidad; **VPN:** Valor predictivo negativo; **VPP:** Valor predictivo positivo

La media y la desviación de estándar de los valores cuantitativos CIE L*a*b* están representados en la Tabla 10. Existe mayor diferencia de medias entre las capas del límite cavitario para los parámetros L* y a*. En la Tabla 11 observamos diferencias estadísticamente significativas para L* y a*, tanto para dentina recuperable/ No recuperable como para las capas del Límite Cavitario.

Tabla 10. Distribución de los valores L* a* b* de la Láserfluorescencia (LIF) λ=405nm en las capas de la caries dentinaria

LIF λ=405nm (Vistaproof®)	Hipermineralizada		Desmineralizada Profunda		Desmineralizada Superficial	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
L	56,75	15,75	58,20	12,72	47,95	11,64
a	7,56	20,16	9,62	17,89	30,64	22,28
b	41,19	9,8	40,5	7,94	37,04	8,09
n=82	n=36		n=24		n=22	

(*) Escala de color CIE 1976 L a b.

Tabla 11. Estadísticos de contraste de los valores L* a* b* de la Láserfluorescencia (LIF) λ=405nm para los estratos de la caries dentinaria.

ESTRATOS COMPARADOS	T de Student (α ≤ 0,05)		
	L	a	B
H2 - H3	0,007	0,001	0,151
[H1+H2] – H3	0,008	0,001	0,082

(*) Escala de color CIE 1976 L a b.

H1: Hipermineralizada; **H2**: Desmineralizada profunda; **H3**: Desmineralizada Superficial

Valores CIE L*a*b* para la Laserfluorescencia λ=450nm

La media y la desviación de estándar de los valores cuantitativos CIE L*a*b* están representados en la Tabla 12. No existen una marcada diferencias de medias entre las capas del límite cavitario para los parámetros L*a*b*, se observan que el valor disminuye en valores absolutos desde la capa hipermineralizada a la desmineralizada superficial. En la Tabla 13 observamos diferencias estadísticamente significativas para L* entre la dentina recuperable/ No recuperable.

Tabla 12. Distribución de los valores L* a* b* de la Láserfluorescencia (LIF) λ=450nm en las capas de la caries dentinaria

LIF λ=450nm (Soprolife®)	Hipermineralizada		Desmineralizada Profunda		Desmineralizada Superficial	
	Media	SD	Media	SD	Media	SD
L	63,89	12,33	59,96	13,30	51,09	18,77
a	-14,5	17,05	-9,0	19,5	-6,41	16,0
b	31,47	20,55	25,58	18,35	17,27	14,27
n=82	n=36		n=24		n=22	

(*) Escala de color CIE 1976 L a b.

Tabla 13. Estadísticos de contraste de los valores L* a* b* de la Láserfluorescencia (LIF) λ=450nm para los estratos de la caries dentinaria.

ESTRATOS COMPARADOS	U de Mann-Whitney ($\alpha \leq 0,05$)		
	L	a	b
H2 - H3	0,69	0,627	0,095
[H1+H2] – H3	0,003	0,183	0,012

(*) Escala de color CIE 1976 L a b.

H1: Hipermineralizada; **H2**: Desmineralizada profunda; **H3**: Desmineralizada Superficial

4-Discusión

La Láserfluorescencia (LIF) es capaz de diferenciar el tejido dental sano del enfermo [22], [23] incluso en la valoración del estado de la pulpa y ante una exposición pulpar [24] En este sentido, la LIF Cuantitativa ha sido aplicada en la determinación del Límite Cavitario (LC). Sin embargo, la LIF Cualitativa (LIF-CL) ha sido muy poco estudiada como método para determinar el LC, a pesar de ser un método objetivo, reproductible y que explora la totalidad de la dentina. Por ello, consideramos este estudio pertinente. Los resultados de la LIF-450nm muestran escasa frecuencia para la categoría de colores “Blanco-Gris-Negro”; para esta categoría, el fabricante no hace indicaciones sobre su aplicación. En nuestro estudio, estos colores, se relacionan con las capas de la dentina recuperable, pero su baja frecuencia implica que estos resultados no sean concluyentes y sólo diremos que cuando aparezcan, serán otras pruebas las que nos guiarán en el diagnóstico. Respecto al resto de categorías de colores concuerdan con el fabricante: VERDE/NARANJA/ROJO. Sin embargo, en la interpretación del color Amarillo-Naranja no lo relacionamos con dentina No Recuperable, como hace el fabricante, por el contrario está asociado a dentina Recuperable y no debe ser eliminada. Los valores de Especificidad (Sp), contemplando la Categoría VERDE-NARANJA como sano, son de 0,96 y el valor pronóstico negativo (VP-) de 0,85.

Con estos datos podemos afirmar que ante una LIF- 450nm VERDE-NARANJA la dentina no debe ser eliminada, pues corresponde a dentina hipermineralizada o dentina profunda desmineralizada. Ambas capas de dentina tienen pocas bacterias, por ello esta categoría la relacionamos con la ausencia o con pequeña cantidad de bacterias. No obstante, esta prueba debe ser acompañada de la exploración de la dureza clínica ya que nos informa del grado de desmineralización de la dentina. Por ello, ante una dentina correosa, pero dentro de esta categoría de color con LIF-450nm podemos tener más probabilidades de que estamos dejando dentina recuperable. No podemos decir lo mismo respecto a la categoría rojo, ya que la sensibilidad es muy baja (0,40).

Sin embargo, el VP+es de 0,75 que es alto, pero no aceptable. En Ciencias de la Salud que el valor debe ser ≥ 0,8 para ser aplicable. Por ello, ante un resultado en la categoría rojo podemos estar ante un tejido enfermo, pero en este aspecto esta prueba no es concluyente.

En relación a los conceptos de sensibilidad y especificidad, estos permiten valorar la validez de una prueba diagnóstica. Sin embargo, carecen de utilidad en la práctica clínica. Tanto la sensibilidad como la especificidad proporcionan información acerca de la probabilidad de obtener un resultado concreto (positivo o negativo) en función de la verdadera condición del enfermo con respecto a la enfermedad. Sin embargo, cuando a un paciente o tejido se le realiza alguna prueba, el clínico carece de información a priori acerca de su verdadero diagnóstico, y más bien la pregunta se plantea en sentido contrario: ante un resultado positivo/negativo en la prueba, ¿cuál es la probabilidad de que el paciente esté realmente enfermo/sano? Así pues, resulta obvio que no puede ser abordado el problema en sola dirección. Por medio de los VP+/- se completa la Validez de la prueba.

La LIF-405nm muestra escala de colores diferentes que para la LIF-450nm. La categoría VERDE-NARANJA debe ser interpretada como dentina recuperable, al igual que para la LIF-450nm, sin embargo el color ROJO no se alinea con la dentina No recuperable. En el caso del Siroinspect® (SI) el rojo puede ser dentina recuperable y en el caso del Vistaproof® (VF) no es una categoría de color discriminativa y estos resultados deben ser excluidos del diagnóstico, representando en nuestro estudio un 25% de los resultados, por lo que un inconveniente para este aparato. Para la LIF-405nm el color ROJO VIVO es el que se corresponde con el tejido dentinario No recuperable, independientemente del sistema utilizado. Con estos antecedentes, podemos afirmar que las recomendaciones del fabricante para el uso de la LIF-CL no se corresponden con los resultados de este estudio, sobre todo para la dentina No recuperable.

Respecto a la Sensibilidad la LIF-405nm son más sensibles que la LIF-450, aunque no alcanzan el 0,8. No

obstante el VP+ es de 0,81 para el SI® y de 0,9 para el VF®. Así ante un valor "ROJO VIVO" podemos estar muy probablemente ante dentina No Recuperable. La Especificidad es muy alta, tanto para el SI® (Sp=0,95) como para el VF® (Sp=0,98); con unos valores VP- de 0,86 y 0,92 respectivamente. Con lo que ante un resultado de esta categoría de color asociada a dentina Recuperable, con toda probabilidad estaremos ante ella.

Así, la LIF-405nm en asociación con la dureza clínica puede ser de gran ayuda en el diagnóstico del LC. Una dentina blanda debe ser eliminada siempre, aunque la LIF-405nm no muestre color Rojo Vivo. Hay que tener en cuenta que la LIF detecta el metabolismo bacteriano y en una capa necrótica no se tiene esta actividad. Ante una dentina correosa, con las salvedades para los Rojos Apagados, puede ser conservada en el caso de VERDEA-NARANJADO y eliminada con la presencia de ROJO VIVO. La dentina dura debe ser conservada siempre. En el caso de dentinas teñidas la LIF-CL positiva no debe ser interpretada como enfermedad, ya que existe una fuente de dentina no cariogénica.

En esta investigación nos hemos planteado, a pesar de ser la LIF-CL una prueba bastante objetiva, eliminar la subjetividad interpretativa de los colores y para ello hemos analizado el color en el Sistema CIE L*a*b*, pudiendo convertir esta prueba en cuantitativa. Para LIF-450nm, la variable L* tiene capacidad para discriminar entre dentina Recuperable/No recuperable; valores ≥ 60 de media estarían en dentina desmineralizada profunda o dentina hipermineralizada, sin poder diferenciar entre ellas; y valores ≤ 51 corresponderían a dentina desmineralizada superficial. Para la variable b* se obtienen resultados similares, pero con valores ≥ 25 para dentina recuperable y para valores ≤ 17 para dentina no recuperable. Estos resultados coinciden con los obtenidos dentro de esta línea de investigación [24] en relación a la capacidad de esta LIF para el diagnóstico del LC.

Respecto a la LIF-405nm, no sólo discrimina entre dentina Recuperable/No Recuperable, sino que lo hace entre las capas del Límite Cavitario con las variables L* y a*. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos en otro estudio [24] de esta línea de investigación, donde esta LIF-405nm obtiene resultados similares en cuanto a la diferenciación entre capas con las variables cualitativas del color. En este caso, la variable L* con valores ≥58 estaríamos en dentina profunda desmineralizada o hipermineralizada y con valores ≤ 48 estaríamos en dentina superficial desmineralizada. Para la variable a*, valores ≤ 10 indicarían dentina Recuperable y valores ≥30 estarían asociados a dentina No recuperable.

Con las limitaciones que presentan los estudios in vitro, para su extrapolación clínica, y a la falta de estudios confirmatorios hay que ser cauteloso con estos resultados. Sin embargo, estamos convencidos que para la aplicación de los nuevos conceptos en cuanto a la dentina que hay que eliminar, la Láserfluorescencia debe ocupar un papel relevante en el diagnóstico. A expensas de descartar las fuentes de fluorescencia no cariógena es la única prueba que detecta la presencia de bacterias, explora toda la cavidad y es más objetiva que la dureza clínica. No obstante, debe ser aplicada como coadyuvante de esta.

Conclusiones

Los colores recomendados por el fabricante, no coinciden con el mejor diagnóstico para la dentina del límite cavitario, por lo que es necesaria una recodificación de la escala.

Los nuevos conceptos relacionados con la dentina que hay que eliminar, hacen que la Láserfluorescencia ocupe un papel relevante en este diagnóstico, a expensas de descartar las fuentes de fluorescencia no carcinógena.

La interpretación de los resultados, mediante el un análisis neutrosófico permite identificar el nivel de validez de los resultados obtenidos en la muestra seleccionada. Pues existió diferencia significación ($\alpha \leq 0,05$) en las pruebas realizadas en la presente investigación.

Referencias

[1] G Henostroza. Caries Dental, principios y procedimientos para el diagnóstico. Primera ed. G H, editor. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2007
[2] O Harris Norman. Odontología preventiva primaria México México: Manual moderno; 2001.
[3] J Costerton.Overview of microbial biofilms. J Ind Microbiol.15:137- 140, 1995
[4] A Scheie. Petersen F. The biofilm concept: consequences for future prophylaxys of oral diseases. Crit Rev Oral Biol Med; 15: 4-12, 2004
[5] E Lanata. Operatoria dental: estética y adhesión. Segunda ed. Buenos Aires: Grupo Guía; 2003
[6] J Van Houte, H V Jordan, R Laraway, R Kent, PM Soparkar, PF Paola. Association of the microbial flora of dental plaque and saliva with human rootsurface caries. J Dent Res; 69(8): 1463–8, 1990
[7] EA Kidd, S Joyston-Bechal, D Beighton. The use of a caries detector dye during cavity preparation: a microbiological assessment. Br Dent J; 174(7): 245–8, 1993
[8] A Banerjee, TF Watson, EA Kidd. Dentine caries excavation: a review of current clinical techniques. Br Dent J. 188(9): 476–82, 2000
[9] E Kidd, D Ricketts, D Beighton. Criteria for caries removal at the enameldentine junction: a clinical and microbiolog-

ical study. Br Dent J. 180: 287-291, 1996
[10] M Herrera, V Bonilla Represa, JJ Segura Egea. Caries enfermedad versus caries lesión: implicaciones diagnósticas y terapéuticas según el International Caries Consensus Collaboration Group. Endodoncia; 34: 204-219, 2016
[11] N Innes, JE Frencken, L Bjørndal, M Maltz, DJ Manton, D Ricketts, et al.. Managing Carious Lesions: Consensus Recommendations on Terminology. Adv Dent Res; 28: 49–57, 2016
[12] T Fusayama. Two layers of carious dentin; diagnosis and treatment. Oper Dent; 4: 63-70, 1979
[13] R Martínez, C Suárez, F Suárez, F Gonzales. Técnicas de diagnóstico de la caries dental. Boletín de la sociedad de Pediatría de Asturias;(46): 23- 31, 2006
[14] Kidd E. How “clean” must a cavity be before restoration? Caries Res; 38: 305–313, 2004
[15] D Margulis. Photoshop Lab Color: The Canyon Conundrum and Other Adventures in the Most Powerful Colorspace. ISBN. ;: p. 0-321-35678-0.
[16] H Labs. Hunter Lab Color Scale. Insight on Color. 1996
[17] F Smarandache, Neutrosophic Overset, Neutrosophic Underset, and Neutrosophic Offset. Similarly, for Neutrosophic Over-/Under-/Off-Logic, Probability, and Statistics, 2016.
[18] R. M Carballo, Paronyan, H., Matos, M. A., & Santillán Molina, A. L. Neutrosofic statistics applied to demonstrate the importance of humanistic and higher education components in students of legal careers. Neutrosophic Sets and Systems, 26(1), 26, 2019.
[19] J. Estupiñán, Diego Fernando Coka Flores, Jorge Alfredo Eras Díaz, y Karina Pérez Teruel. «An Exploration of Wisdom of Crowds using Neutrosophic Cognitive Maps». Neutrosophic Sets and Systems 37 (1): 2, 2020
[20] M. Abdel-Basset, M. Gunasekaran, M. Mohamed, and F. Smarandache, “A novel method for solving the fully neutrosophic linear programming problems,” Neural Computing and Applications, vol. 31, no. 5, pp. 1595-1605,2019.
[21] S. A Edalatpanah, & F Smarandache. Data envelopment analysis for simplified neutrosophic sets. Infinite Study, 2019
[22] C Abalos, A Mendoza, A Jimenez-Planas, E Guerrero, A Chaparro, F GarciaGodoy. Performance of laser fluorescence for the detection of enamel caries in non-cavitated occlusal surfaces: clinical study with total validation of the sample. Am J Dent;25(1):44–8, 2012
[23] C Abalos, M Herrera, V Bonilla, L San Martin, A Mendoza. Laser-induced fluorescence in the diagnosis of pulp exposure and the influence of residual dentin thickness: An in vivo study. Am J Dent.28(2):75–80, 2015
[24] C Gil-Bermejo. Validez y Seguridad de la Dureza Clínica vs Láserfluorescencia a λ=655nm, 450nm y 405nm en el diagnóstico del Límite Cavitario: un estudio exvivo con marcadores de ADN. [TFM) us. 2018.

Recibido: Septiembre 26, 2023. **Aceptado:** Octubre 20, 2023